

感谢“湖南工业大学‘绿色包装与安全博士人才培养项目’出版基金资助”和
“湖南工业大学先进包装材料与技术 2011 协同创新中心开放课题资金资助”

冶金材料科学基础

© 丁燕鸿 刘富生 何世文 主编

YEJIN CAILIAO KEXUE JICHU



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

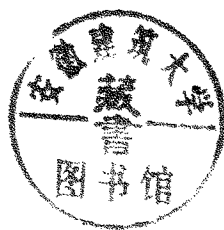
WWW.NEUP.COM

东北师范大学出版社

感谢“湖南工业大学‘绿色包装与安全博士人才培养项目’出版基金资助”和
“湖南工业大学先进包装材料与技术 2011 协同创新中心开放课题资金资助”

冶金材料科学基础

◎ 丁燕鸿 刘富生 何世文 主编



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NNUP.COM

东北师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冶金材料科学基础 / 丁燕鸿, 刘富生, 何世文主编. --
长春: 东北师范大学出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5681-3635-8

I. ①冶… II. ①丁…②刘…③何… III. ①冶金—材料—材
料科学—基本知识 IV. ①TF03

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 213301 号

☐ 策划编辑: 王春彦

☐ 责任编辑: 卢永康

☐ 封面设计: 优盛文化

☐ 责任校对: 时星燕

☐ 责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市净月经济开发区金宝街 118 号 (邮政编码: 130117)

销售热线: 0431-84568036

传真: 0431-84568036

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

河北优盛文化传播有限公司装帧排版

北京一鑫印务有限责任公司

2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

幅画尺寸: 185mm×260mm 印张: 28.25 字数: 659 千

定价: 67.00 元

第一篇 冶金与材料的关系 / 001

第一章 冶金与材料概述 / 002

第一节 冶金材料的分类 / 002

第二节 冶金与材料的发展史 / 005

第三节 冶金与材料的发展趋势 / 008

第二章 冶金材料的基本性能 / 011

第一节 冶金材料的微结构与性能 / 011

第二节 冶金材料的物理、化学及工艺性能 / 019

第二篇 冶金与材料基础知识 / 029

第三章 金属的晶体结构 / 030

第一节 晶体学基础 / 034

第二节 纯金属的晶体结构 / 043

第三节 合金相结构 / 050

第四章 晶体缺陷 / 063

第一节 点缺陷 / 064

第二节 位错 / 068

第三节 材料中的面缺陷 / 079

第五章 材料的形变 / 093

第一节 金属材料的形变 / 094

第六章 合金相图 / 115

第一节 相图的基本知识 / 116

第二节 二元相图 / 119

第三节 三元相图 / 149

第七章 固体金属中的扩散 / 174

第一节 表象理论 / 175

第二节 扩散的热力学分析 / 184

第三节 扩散的微观机理 / 186

第四节 影响扩散的因素 / 191

第八章 金属和合金的凝固 / 195

第一节 纯金属的凝固 / 196

第二节 合金的凝固 / 206

第三节 铸锭的组织缺陷 / 216

第九章 回复与再结晶 / 221

第一节 冷变形金属在加热时的组织与性能变化 / 222

第二节 回复 / 224

第三节 再结晶 / 226

第四节 金属的热加工 / 233

第三篇 冶金与材料物理化学 / 235

第十章 冶金与材料制备的热力学 / 238

第一节 冶金与材料制备的热力学计算 / 239

第二节 冶金与材料制备的热力学分析 / 252

第三节 冶金熔体的热力学 / 275

第四节 热力学状态图 / 290

第十一章 冶金与材料制备的动力学 / 311

- 第一节 反应动力学基础 / 312
- 第二节 气—固反应动力学 / 322
- 第三节 液—固反应动力学 / 333
- 第四节 液—液反应动力学 / 343
- 第五节 气—液反应动力学 / 350
- 第六节 材料制备过程中的形核动力学 / 360
- 第七节 材料制备过程中的热分解动力学 / 367

第十二章 冶金与材料制备的电化学 / 374

- 第一节 电化学基础理论 / 374
- 第二节 熔盐电化学 / 388
- 第三节 水溶液电化学 / 410
- 第四节 固体电解质 / 439

第一篇

冶金与材料的关系



第一章 冶金与材料概述

本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
冶金与材料的分类	熟悉冶金与材料的概念和分类，重点掌握钢的分类	有色金属的分类
冶金与材料的发展史	掌握冶金材料的发展历史	冶金材料科学的发展
冶金与材料的发展趋势	掌握冶金材料的总体趋势，重点掌握冶金材料学科的发展趋势	我国冶金材料学科的战略目标

第一节 冶金材料的分类

冶金材料种类繁多，通常可按组分复杂程度和组成成分两个角度进行分类。

冶金材料按组分复杂程度可分为纯金属和合金两大类。

纯金属（简单金属）是指由一种金属元素组成的物质。目前，已知的纯金属有 80 多种，但由于纯金属力学性能特别是强度较低，除了要求导电性高的电器材料外，用于工程目的的则为数不多。

合金（复杂金属）是指两种或两种以上金属元素或金属元素与非金属元素，经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质。它的种类很多，例如，钢是由铁、碳组成的合金，即铁碳合金；黄铜是铜、锌组成的合金，即铜锌合金；青铜是由铜、锡组成的合金，即铜锡合金，等等。由于合金的使用性能优于纯金属，并且通过改变成分可使其性能在很大的范围内发生变化，在冶金工程上，其应用范围要比纯金属广泛得多。

冶金材料按组成成分可分为钢铁材料和非铁金属及其合金两大类。钢铁材料是指铁及铁基合金材料，又称黑色金属。它占金属材料总量的 95 % 以上，又可分为生铁、铁合金、铸铁和钢等。非铁金属（习惯上称为有色金属）及其合金是指除铁及铁基合金之外的所有金属及

其合金材料。它又可分为轻金属（如铝、镁、钛）、重金属（如铅、锑）、贵金属（如金、银、铂）和稀有金属（包括放射性的铀、镭）等。其中，作为工业用金属，铝及铝合金、铜及铜合金用途最广。此外，工业上还采用镍、锰、钼、钴、钒、钨、钛等作为合金附加物，以改善金属的性能，制造某些有特殊性能要求的零件。

一、钢铁材料

（一）生 铁

生铁是 WC（质量分数）> 2% 的一种铁碳合金，还含有少量硅、锰、磷、硫等元素。把铁矿石放在高炉中冶炼而得到的产品即为生铁（液状）。把液状生铁浇铸于砂模或钢模中，即成块状生铁（生铁块）。生铁分为炼钢用生铁和铸造用生铁两种。

（二）铁合金

铁合金是指铁与硅、锰、铬、钛等元素组成的合金总称。例如，铁与硅组成的合金叫作硅铁，铁与锰组成的合金叫作锰铁，等等。它们主要供铸造或炼钢作还原剂或作合金元素添加剂。

（三）铸 铁

把铸造用生铁放入熔铁炉中熔炼而得到的产品即为铸铁（液状）。再把液体状铸铁浇铸成铸件，这种铸件叫作铸铁件。工业上常用的有灰铸铁、可锻铸铁（马铁、玛钢）、球墨铸铁、蠕墨铸铁和合金铸铁等。

（四）钢

钢是指以铁为主要元素、碳质量分数一般在 2% 以下并含有其他元素的材料。钢中含有的其他元素包括硅、锰、磷、硫等杂质元素（其质量分数要比生铁中少得多）和为提高钢的性能而特意加入的合金元素。将炼钢用生铁放入炼钢炉内熔炼，即得到钢。钢的产品有钢锭、连铸坯（供轧制成各种钢材）和直接铸成的各种钢铸件等。通常所讲的钢，一般是指经过轧制的钢。



图 1-1 钢分类的关系图

中国国家标准 GB/T 13304.1-2008、GB/T 13304.2-2008《钢分类》，参照国际标准，对钢的分类做了具体的规定。标准第一部分规定了按照化学成分对钢进行分类的基本原则，将钢分为非合金钢、低合金钢和合金钢三大类，并且规定了这三大类钢中合金元素质量分数的基本界



限值；标准第二部分规定了非合金钢、低合金钢和合金钢按主要质量等级、主要性能及使用特性分类的基本原则和要求。钢按国标进行分类的关系见图 1-1。

除上述标准分类法外，根据分类目的的不同，习惯上还常按照以下几种方法对钢进行分类。

(1) 按冶炼方法分类，根据冶炼方法和冶炼设备不同，钢可以分为电炉钢和转炉钢两大类。根据脱氧程度和浇注程度的不同，可分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢。

(2) 按金相组织分类，根据钢的金相组织不同可分为铁素体型、奥氏体型、珠光体型、马氏体型、贝氏体型、双相（如马氏体 / 铁素体）体型等。

(3) 按使用加工方法分类，根据在钢材使用时的制造加工方式可以将钢分为压力加工用钢、切削加工用钢和冷顶锻用钢。

(4) 按用途分类，根据用途不同可以把钢分为结构钢、工具钢和特殊性能钢三大类或者进一步细分为碳素结构钢、优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、弹簧钢、轴承钢、碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢耐酸钢、耐热钢和电工用硅钢十二大类。

为了满足专门用途的需要，由上述钢类又派生出一些专门用途的钢，简称为专门钢，包括：焊接用钢、钢轨钢、铆螺钢、锚链钢、地质钻探管用钢、船用钢、汽车大梁用钢、矿用钢、压力容器用钢、桥梁用钢、锅炉用钢、焊接气瓶用钢、车辆车轴用钢、机车车轴用钢、耐候钢和管线钢等。

二、有色金属及其合金

(一) 按照密度、价格、储量及性能分类

1. 重金属指密度 $> 3.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的有色金属，包括铜、镍、钴、铅、锌、锡、锑、汞、镉、铋等纯金属及其合金。

2. 轻金属指密度 $< 3.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的有色金属，包括铝、镁、钠、钾、钙等纯金属及其合金。这类金属的共同特点是：密度小（ $0.53 \sim 3.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）、化学活性大，与氧、硫、碳和卤素的化合物都相当稳定。

3. 贵金属指贵重或可制造货币的金属，包括金、银、铂、钯、铑等纯金属及其合金。它们的特点是密度大（ $10.4 \sim 22.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）、熔点高（ $916 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 3\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、化学性质稳定、能抵抗酸碱、难以腐蚀（除银和钯外）。

4. 半金属指物理性能介于金属与非金属之间的有色金属，包括硅、硒、碲、砷、硼等。其中，硅是半导体主要材料之一，高纯碲、硒、砷是制造化合物半导体的原料，硼是合金的添加元素。

5. 稀有金属指相对较为稀缺或目前产量相对较少的有色金属。稀有轻金属包括钛、铍、锂、铷、铯等。其共同特点是密度小、化学活性很强。稀有高熔点金属包括钨、钼、铌、锆、铪、钽、铌等。其共同特点是熔点高（均 $> 1\,700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，钨高达 $3\,400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、硬度大、抗腐蚀性强，可与一些非金属生成非常硬和非常难熔的稳定化合物。

稀有分散金属包括镓、铟、铊、铕等，除铕外都是半导体材料。稀土金属包括镧系和与镧系性质非常相近的钪、钇元素。其特性是化学性质活泼，故在冶金工业和球墨铸铁的生产中获得了广泛的应用。稀土金属其实并不稀少，它的储量是较丰富的，也不像泥土，只是由于过去



提纯和分离技术低,只能获得外观似碱土的稀土氧化物而得名。

6. 放射性金属包括天然放射性元素如钋、镭、锕、钍、镤和铀等元素以及人造超铀元素如钷、钷、镱、镱等。这类金属是原子能工业的主要原料。

(二) 按生产方法及用途分类

1. 有色冶炼产品指以冶炼方法得到的各种纯金属或合金产品。纯金属产品一般分为工业纯度及高纯度两类,按照金属的不同,可分为纯铜、纯铝、纯镍、纯锡等。合金冶炼产品是按铸造有色合金的成分配比而生产的一种原始铸锭,如铸造黄铜锭、铸造青铜锭、铸造铝合金锭等。

2. 有色加工产品指以压力加工方法生产出来的各种管、棒、线、型、板、箔、条、带等有色半成品材料,包括纯金属加工产品和合金加工产品两类。按照有色金属和合金系统可分为:纯铜加工产品、黄铜加工产品、青铜加工产品、白铜加工产品、铝及铝合金加工产品、锌及锌合金加工产品、钛及钛合金加工产品等。

3. 铸造有色合金指以铸造方法,用有色金属材料直接浇铸各种形状的机械零件,其中最常用的有:铸造铜合金(包括铸造黄铜和铸造青铜)、铸造铝合金、铸造镁合金、铸造锌合金等。

4. 轴承合金指制作滑动轴承轴瓦的有色金属材料,按其基体材料的不同可分为:锡基、铅基、铜基、铝基、锌基、镉基和银基等轴承合金。实质上,它也是一种铸造有色合金,但因其属于专用合金,故通常都把它划分出来,单独列为一类。

5. 硬质合金指以难熔硬质金属化合物(如碳化钨、碳化钛)作基体,以钴、铁或镍作黏结剂,采用粉末冶金法(也有铸造的)制作而成的一种硬质工具材料。其特点是具有比高速工具钢更好的红硬性(高温下保持硬度)和耐磨性。常用的硬质合金有钨钴合金、钨钴钛合金和通用硬质合金三类。

6. 焊料是指焊接金属制件时所用的有色合金。焊料应具有的基本特性是:熔点较低、黏合力较强、焊接处有足够的强度和韧性等。按照化学成分和用途的不同,焊料通常分为三类:

(1) 软焊料——铅基和锡基焊料,熔点为 $220 \sim 280\text{ }^{\circ}\text{C}$;

(2) 硬焊料——铜基和锌基焊料,熔点为 $825 \sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$;

(3) 银焊料——熔点为 $720 \sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$,也属硬焊料,但这类焊料比较贵,主要用于电子仪器 and 仪表中。因为它除了具有上述一般特性外,还具有在熔融状态下不氧化(或微弱氧化)的特性和高的电化学稳定性。

7. 金属粉末指粉状的有色金属材料,如镁粉、铝粉、铜粉等。

8. 特殊合金指高温合金、精密合金、复合材料等。

第二节 冶金与材料的发展史

在所有应用材料中,凡由金属元素或以金属元素为主而形成的,并具有一般金属特性的材料通称为冶金材料或金属材料。它是材料的一大类,是人类社会发展极为重要的物质基础之一。

冶金材料科学是关于冶金材料方面的一门学科,它与冶金材料的创造、发明和发展是密切相关的,两者是相互促进、相辅相成的。两者都是千百年来广大劳动人民和科学工作者密切合



作，经过生产实践和科学实验，反复总结提高而逐步发展和完善起来的，都是人类生产活动的产物，是劳动的结晶。

一、冶金材料发展简史

人类和自然斗争的历史大致可分为石器时代和金属时代两大时代，金属时代又分为铜器时代和铁器时代。它们标志着人类生产大发展的三个飞跃阶段，也是记载人类文化进展的三个里程碑。人类由石器时代进入金属时代是以青铜的创造和应用作为重要标志的，由铜器时代进入铁器时代是以铸铁（或生铁）的熔炼和应用开始的，由铸铁到炼钢又是一个较大的飞跃。青铜曾对古代文明起过非常重要的作用，钢铁在近代文明中占据着特别重要的位置。历史事实表明，自从钢铁的冶炼和应用兴起以后，人类社会生产和科学技术的发展便日益紧密地和钢铁联系在一起，并以前所未有的速度迅猛发展。进入 20 世纪以后，这种关系表现得更为突出。钢铁的发展促进了科学技术的发展，科学技术的发展反过来又促进了钢铁和其他有色金属材料的发展。20 世纪 50 年代以后，尽管有人认为已开始进入原子或电子时代，各种尖端技术相继涌现，各个生产领域不断革新，但是冶金材料的发展不是慢了，而是更迅速地又进入了一个大发展的新阶段，各种新型冶金材料也随之大量出现。到目前为止，全世界金属材料的总年产量（包括钢、铸铁和有色金属材料）已高达数十亿吨以上，质量和品种的发展也相当快。由此可见，一个国家或一个历史时期，金属材料产量的多少、发展速度的快慢以及质量的高低，已经成了衡量其生产水平和科学技术发达程度的重要标志之一。

我国冶金材料的发展，据考证早在商朝（公元前 1652—公元前 1066）初期即已出现高度的青铜文化（图 1-2），可见铜器时代至少应在夏朝就已开始了。春秋（公元前 722—公元前 481）时已能熔炼铸铁，到战国（公元前 403—公元前 221）时，铸铁的生产和应用已显著扩大，白口铁、展性铸铁、麻口铁相继出现。我国考古出土了汉代铁锄头，是一种农具，说明秦汉时期已经在农业生产中使用铁器。随后发展到由铸铁而炼钢，并相继开始采用各种热处理方法，如退火、淬火、正火和渗碳等，来改善钢和铸铁的性能。西汉时，钢和铸铁的冶炼技术已大大提高，产量、质量和应用得到空前的发展。后经过一千五六百年，直到明朝（1368—1661），特别是中间又经过盛唐时代的大发展后，钢铁生产一直在世界上遥遥领先。与此同时，铜合金也由青铜发展到黄铜和白铜，并以此而闻名于世，其他金属材料也有相应的发展。由此可见，我国古代劳动人民无论在早期金属材料的启蒙时代还是在钢铁发展的初期和中期，都曾有过辉煌的成就，对人类做出了巨大的贡献。只是到了 18 世纪，特别是 19 世纪以后，腐朽的封建统治，加之帝国主义的侵略和剥削掠夺，才使我国在冶金材料方面逐渐落在他国之后，以致新中国成立前，我国钢铁的年产量即使按历史最高水平计也仅有几十万吨。新中国成立后，生产大发展，钢和其他金属材料也随之发展起来。到了 2005 年，我国年产钢已经超

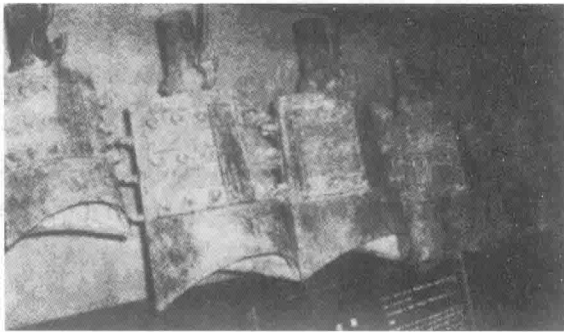


图 1-2 商代中期的铜编钟（1960 年在陕西出土）



过3亿吨，一跃成为世界第一产钢大国。

二、冶金材料科学的发展

冶金材料学是关于冶金材料——金属和合金的科学，它的中心内容是研究冶金材料的成分、结构、组织和性能以及它们之间的相互关系和变化规律。目的在于利用这些关系和规律来指导科学研究和生产实践，以便更充分、有效地发挥现有冶金材料的潜力，并创制新的冶金材料。冶金材料学基本上是一门应用科学，也是一门偏重于实验的科学。

我国古代劳动人民和科学工作者在有关冶金材料学早期知识的积累方面有很大的贡献，这从现已发现的大量古代金属遗物中即可看到。例如，精致的冶炼、铸造、锻造和焊接技术以及惊人的热处理和化学热处理——渗碳工艺等。这表明当时的人们已相当准确地掌握了冶金材料的许多工艺性能和使用性能，并应用于生产实践中。另外，从现存的许多古籍中还可以找到有力的文字证据，除了零星记载外，还有不少系统的文献，其中最著名的有先秦时期的《考工记》、宋代沈括的《梦溪笔谈》以及明代宋应星的《天工开物》等。它们都属于公认的世界最早或较早的有系统的技术著作。其中也记载着金属材料的冶炼、铸造、焊接、热处理等工艺方面以及成分、性能和用途方面的珍贵资料。即使今天读起来，也令中外人士惊叹不已。例如，2000多年前的《考工记》中关于6种铜合金——青铜的成分配比、性能和用途方面的论述与现代青铜几近完全一致，500多年前的《天工开物》中关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺方面的论述也和今日相差无几。事实上，热处理的应用要早得多。

据《中国冶金史》考证，早在商朝即开始采用退火方法来处理金箔，到战国时，已多方面应用各种热处理方法于钢铁加工了。铸铁的柔化热处理技术比之西方早约2300年。所有这些生动地说明了我国古代劳动人民和科学工作者的巨大成就和智慧。但不幸的是，由于前面所讲到的同样理由，我们在现代冶金材料科学和技术方面的发展上落后了。1949年后，随着金属材料和其他科学技术的发展，冶金材料科学也得到了发展。

早在人类创制和应用金属材料的初期，就已开始积累有关冶金材料的性能、成分、加工处理和质量检验等方面的知识，并逐步探索相互间的联系和规律。例如，关于质量检验方面，最早人们是通过辨别声响，观察擦划条痕、表面色泽和断口状况等简单方法来判别金属材料的性能和质量的，之后采用腐蚀的方法以观察表面或断面所出现的纹理，并逐渐将它和金属材料的制造、加工及热处理等方法联系起来，探索其中规律，用以改进生产工艺。这些实验和鉴别金属材料的方法虽较原始，但对冶金材料的发展曾起过重要的作用，而且其中有的至今仍不失为冶金材料学的基本内容之一。但是，古代的冶金材料知识仅存在于经验层面上，并没有上升为科学，还不能说明金属的内在本质及其变化规律。

随着科学技术和工业的发展，新的冶炼方法和精炼方法不断出现。1866年，德国发明了发电机，它的出现使电解法提纯铜的工业方法得到了实现，从而满足了电气工业对高纯铜的需要，也开创了电冶金这一新领域。工业的发展促进了新材料的需要，新的金属不断投入使用，继钨钢之后，相继出现了高锰耐磨钢和锰钢，接着又出现了镍钢和铬钢。在有色金属方面，包括轻金属（铝、镁、钛）、难熔金属（钨、钼、铌等）、稀土元素、放射性元素等，在18、19世纪已经被先后发现。

进入 20 世纪,特别是 20 世纪 20 年代后,相继发明和应用了 X 射线术、电子显微镜。近年来,又发明和应用了场离子显微镜,以及电子探针和电子扫描等新技术。这些技术空前扩大了有关冶金材料方面的研究领域,使金属材料由宏观到微观直至原子组态方面,甚至电子结构方面的秘密及其与性能方面的关系和规律几乎都被初步直接揭示出来,其中不少已达到定量的程度。冶金材料学因而更趋完善了,成为真正意义上的冶金材料科学。

在近代物理化学的指导下,核技术和电子工业促进了稀有金属材料的研究。第二次世界大战之后,电子工业和半导体工业对超纯材料的要求,导致区域熔炼及各种单晶制备方法和气相沉积法的出现,非晶态金属的制备和具有金属导体性质的非金属的出现,更扩大了冶金材料的领域。

人类对冶金材料经过 6000 多年的使用和研究,已经有了一些深入的了解。通过对其合金成分、晶体结构、晶体缺陷、电子和原子运动、固态相变之间的关系以及它们和各种性能之间的关系的了解,将会进一步发展出新的冶金材料,并充分发挥它们的各种物理、化学、力学性能。冶金材料学的发展将能促进更加经济、有效地获得多种多样的冶金材料。

第三节 冶金与材料的发展趋势

一、总体发展趋势

冶金与材料的总体发展趋势可以概括为三个综合,即过程综合、技术综合、学科综合。过程综合主要包括两方面的含义:一是冶金、材料的冶炼和加工一体化,各个环节的关联越来越紧密;二是多个过程的综合化,如连续铸轧技术、半固态加工技术等。技术综合是指冶金与材料学科发展成为一门多种技术相结合的应用技术科学,尤其体现为冶金、材料加工、信息控制等多种技术之间的综合。学科综合体现为传统学科之间的综合,冶金工程与材料工程的综合,冶金与材料科学之间综合形成冶金—材料一体化的特点,各学科之间的界限越来越不明显,学科渗透和相互依赖性越来越强。

上述发展趋势不但可以大大促进冶金与材料科学的迅速发展,产生重大的经济和社会效益,而且可能引起许多概念范畴的变化,甚至引起冶金与材料工程及其相关学科内涵的变化,从而促进学科的发展。

二、冶金材料科学的发展趋势

冶金与材料制备工程学科的主要发展方向包括以下几个方面。

1. 针对我国的冶金资源复杂、多金属共生等特点,系统研究分离提取新技术,并综合考虑资源有效利用与环境保护问题,实现绿色冶金。探索固体废弃物和二次冶金资源高效、高值化循环利用的新概念、新方法、新工艺。

2. 常规冶金材料制备的短流程化和高效化。进一步改进传统冶金、材料成形与加工的模式,缩短生产工艺流程,简化工艺环节,实现近终形、短流程的连续化生产,提高生产效率。半固态成形、连续铸轧、连续铸挤等实现了凝固与成形加工两个过程合二为一,进行精确控



制,形成以节能、降耗、高效、优质为主要特征的新技术和新工艺。

3. 特殊冶金技术开发与应用研究。以生物冶金、氢冶金、微重力和超重力冶金等为典型代表的特殊冶金技术的深入研究与开发应用,研究超纯净、超细化、均质化冶金与“超级金属”的冶金与制备过程,对于节能降耗、减轻环境负担、提高冶金质量具有重要的理论和实际意义。

4. 发展先进的冶金与成形加工一体化技术,实现材料的组织结构与性能的精确控制。发展先进的冶金与成形加工一体化技术,实现组织与性能的精确控制,可以提高材料的使用性能,改善难加工材料的加工性能,开发高附加值材料。

进一步发展材料冶金新技术、非平衡凝固技术、电磁铸轧技术、电磁连铸技术,可在材料的制备过程中通过对冷却速度的控制或附加外场的作用,改善材料的组织,大幅度提高材料的性能。

5. 发展特种材料成形加工技术,促进新材料与新产品的开发与应用。发展先进层状复合材料成形技术、先进超塑性成形技术、微成形加工技术,推动新材料和新产品发展,拓宽新材料的应用领域。

激光焊接、电子束焊接、扩散焊接、摩擦焊接等先进连接技术的发展,有效解决高性能先进材料的连接技术难题,扩大了其应用范围。20世纪90年代初出现的搅拌摩擦焊接技术在熔融焊接困难(如金属基复合材料)或焊缝质量要求特别严格(如宇航与军事领域)的焊接冶金等方面,具有潜在的应用前景。

6. 构筑完善的冶金与材料工程数据库,发展计算机数值模拟与过程仿真技术。计算机数值模拟、过程仿真技术的迅速发展,对现代冶金与材料工程技术的研究和发展起到了重要的促进作用;发展计算机数值模拟、过程仿真技术的最终目的是为了设计、优化冶金和材料成形加工方法和工艺,实现精确冶金与精确材料制造。为了提高数值模拟与过程仿真技术的广泛适用性、结果可靠性,需要构筑系统、全面、通用性强的冶金与材料工程数据库。

三、我国冶金材料学科的战略目标

冶金与材料工程科学既是传统的学科,也是仍在不断发展中的学科。随着经济和科学技术的迅速发展,世界上许多国家特别是一些发达国家调整了冶金与材料工程科学的研究方向,主要体现在:依靠学科交叉,汲取新的科学成果,拓宽专业面,突出冶金环保和可持续发展,发展无污染冶金;合理利用资源,力求降低能耗,重视二次资源的有效利用,以冶金短流程为出发点开发冶金新工艺、新流程,特别注意强化一步成材工艺的研究,使冶金和材料制备节能、降耗、经济、灵活,更能迅速满足经济和科学技术发展的需要。

基于国外发展动向和国内现状,我国冶金与材料工程学科近期的发展目标与方向是:

1. 重视学科交叉和高新技术在冶金与材料制备工程中的渗透,加强冶金新工艺、新流程的基础研究。在加强通用材料和冶金流程新工艺技术研究的同时,注意特种冶金和材料制备新技术应用基础理论研究,缩小与世界先进水平的差距,为冶金与材料工程科学的发展奠定基础。

2. 根据我国多金属共生矿、现有二次金属资源、低铝硅比的铝土矿以及海底锰结核矿等特点,加强有价值元素高效分离提取的新工艺、新流程的基础研究。

3. 在电磁冶金、钢铁半凝固加工已有良好研究的基础上,进一步深入研究近终成形技术。



在矿浆电解分离金属、氧化物直接电解、矿石直接还原、微生物冶金等应用基础研究上,探索新方法、新工艺,建立采—选—冶—材料制备加工一体化新流程,逐步发展到生产超金属、纳米冶金产品等新材料。

4. 开展循环冶金、冶金生态环境的科学问题研究。

习 题

- 1-1. 冶金材料有哪些分类?
- 1-2. 钢有哪些分类? 各是什么?
- 1-3. 有色金属有哪些分类?
- 1-4. 冶金材料科学的发展趋势是什么?



第二章 冶金材料的基本性能

本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
冶金材料的微结构与性能	了解冶金材料微结构的概念，掌握冶金材料性能的概念和分类	冶金材料的力学性能及相关知识
冶金材料的物理化学及工艺性能	掌握冶金材料的物理性能、化学性能以及工艺性能	冶金材料的耐腐蚀性及工艺性能的关系

第一节 冶金材料的微结构与性能

冶金材料的性能主要取决于其化学组成和微结构。微结构是材料中原子的排列位置和空间分布，包括三个层次：原子结构和原子结合键、原子的空间排列即晶体结构、相和组织。晶体缺陷赋予材料组织和性能的多样性，是分析材料性能的钥匙，只有掌握了材料的成分—组织—性能之间的内在联系，才能为进一步分析冶金材料打下基础。

一、微结构的概念及组成类型

（一）微结构的概念

微结构的原始定义是显微镜下观察到的结构。其中，材料的微结构分为以下内容：

1. 肉眼或借助放大镜和实体显微镜只能分辨大于 0.1 mm ，即大于 $100\text{ }\mu\text{m}$ 的物体，所观测到的结构被称为“宏观结构”或“大结构”。
2. 光学显微镜的最大分辨率可达 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 左右，观测到的结构被称为“显微结构”。
3. 电子显微镜的分辨率可提高到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，即 10 nm ，观测的结构被称为“超微结构”或“亚显微结构”。
4. 用高分辨率透射电镜可观察到的物质的分子、原子，直接研究品格、点阵，这种结构被称为微观结构。